



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

# REKONSTRUKCE MALÉ VODNÍ NÁDRŽE POD KRAVÍNEM

RECONSTRUCTION OF THE POD KRAVÍNEM DAM

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lívía Lehotská

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN JANDORA, Ph.D.

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVIŠTĚ	Ústav vodních staveb

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Lívía Lehotská
NÁZEV	Rekonstrukce malé vodní nádrže Pod kravínem
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	25. 8. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 25. 8. 2016

.....  
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,  
MBA

Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže

TNV 75 2935 - Posuzování bezpečnosti vodního díla povodních

Boor, B., Kunštátský, J., Patočka, C. 1968. Hydraulika pro vodohospodářské stavby, SNTL Praha

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Náplní diplomové práce bude rekonstrukce VD Pod kravínem v k.ú. Pucov a posouzení bezpečnosti tohoto VD při povodních podle TNV 75 2935. Mimo vlastního posouzení a prověření bezpečnosti při povodních budou navržena opatření, která povedou ke zvýšení bezpečnosti.

Požadavky na zpracování diplomové práce:

1. Odbahnění nádrže
2. Vytvoření sedimentačního prostoru nad nádrží
3. Rekonstrukce bezpečnostního přelivu
4. Rekonstrukce výpustného zařízení
5. Posouzení mezní bezpečné hladiny pro převedení kontrolní povodňové vlny,
6. Navržení opatření ke zvýšení bezpečnosti.

Práce bude obsahovat:

- A. Úvodní část
- B. Účel a popis VD Pod kravínem
- C. Odbahnění nádrže
- D. Rekonstrukce bezpečnostního přelivu a výpustného zařízení
- E. Základní údaje a podklady
  - E.1. Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni
  - E.2. Hydrologické podklady
  - E.3. Technické parametry a podklady
  - E.4. Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla při povodni
  - E.5. Hydraulické výpočty
- F. Stanovení mezní bezpečné hladiny
- G. Stanovení kontrolní maximální hladiny v nádrži
- H. Závěrečné zhodnocení
- I. Nápravná a nouzová opatření
- J. Použité podklady
- K. Seznam příloh

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

**ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá rekonstrukcí malé vodní nádrže ve spolupráci s projekční firmou VZD Invest s. r. o. Úvod je zaměřen na základní popis samotného předmětu studie – malé vodní nádrže. Druhá část zahrnuje obecnou charakteristiku malé vodní nádrže a její výpočet. Třetí kapitola si klade za cíl analýzu současného stavu a stanovení počátečních podmínek. Těžiště práce tvoří samotný výpočet charakteristik malé vodní nádrže a navržení potřebné rekonstrukce pro následné plnění její funkce. V závěru je provedeno bezpečnostní zhodnocení navržených opatření.

**KLÍČOVÁ SLOVA**

malá vodní nádrž, rekonstrukce, hráz, bezpečnostní přeliv, výpustné zařízení

**ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the reconstruction of small reservoir in collaboration with the company VZD Invest s. r. o. The first part aims at the basic description of the thesis subject – the small reservoir. Characteristics of small reservoir and calculations are processed in the second part. The third part is focused on the description of the current conditions. The main part consist of characteristics calculations of the small reservoir and proposal of the necessary reconstruction for future technical function. In conclusion, safety assessment of the proposed measures are evaluated.

**KEYWORDS**

small reservoir, reconstruction, dam, spillway, dam's outlet works

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Livia Lehotská *Rekonstrukce malé vodní nádrže Pod kravínem*. Brno, 2016.  
53 s., 88 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta  
stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.

**PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2017

---

Bc. Lívía Lehotská  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala doc. Ing. Janu Jandorovi, Ph.D. za cenné připomínky, trpělivost a odborné vedení diplomové práce. Dále pak pracovníkům firmy VZD Invest s. r. o., zejména Ing. Lukášovi Dokulilovi, za konzultace, poskytnutí materiálů a nezbytných informací.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP .....	5
PROHLÁŠENÍ .....	6
PODĚKOVÁNÍ .....	7
OBSAH .....	8
ÚVOD .....	10
1 HISTORIE RYBNÍKÁŘSTVÍ V ČR .....	11
2 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE .....	12
2.1 Charakteristika .....	12
2.2 Jednotlivé prvky MVN .....	13
2.2.1 Hráz a zátopa .....	14
2.2.2 Výpustné zařízení na rybnících .....	15
2.2.3 Bezpečnostní přeliv .....	15
2.3 Účel výstavby .....	16
2.3.1 Poloha a umístění rybníků .....	17
2.4 Princip výpočtu základních charakteristik .....	18
2.4.1 Základní rovnice nádrže .....	18
2.4.2 Batygrafické křivky .....	19
2.4.3 Rozdělení prostorů a hladin v nádrži .....	20
2.4.4 Určení zásobního prostoru nádrže .....	21
2.4.5 Určení ovladatelného retenčního prostoru nádrže .....	23
3 ÚČEL A POPIS MVN POD KRAVÍNEM .....	27
3.1 Geografický popis .....	27
3.2 Geomorfologické poměry .....	27
3.3 Hydrologické poměry .....	28
3.4 Klimatické podmínky .....	28
4 TECHNICKÉ PARAMETRY, PODKLADY A HYDRAULICKÉ VÝPOČTY .	30
4.1 Základní údaje a podklady .....	30
4.2 Stanovení kontrolní maximální hladiny .....	30
4.2.1 Hydrologické podklady .....	31
4.2.2 Ztráty .....	32
4.3 Stanovení ovladatelného retenčního prostoru .....	35
4.3.1 Výpočet bezpečnostního přelivu .....	35
4.3.2 Výpočet výpustného zařízení .....	38



4.3.3	Stanovení kontrolní maximální hladiny .....	39
5	REKONSTRUKCE NÁDRŽE .....	41
5.1	Odbahnění nádrže .....	41
5.2	Rekonstrukce výpustného zařízení .....	42
5.3	Rekonstrukce bezpečnostního přelivu .....	43
5.4	Vytvoření sedimentačního prostoru .....	44
6	BEZPEČNOSTNÍ ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ.....	46
6.1	Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni.....	46
6.2	Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla za povodní .....	47
6.3	Stanovení mezní bezpeční hladiny .....	47
6.4	Nápravná a nouzová opatření ke zvýšení bezpečnosti.....	48
	ZÁVĚR.....	49
	POUŽITA LITERATURA .....	50
	SEZNAM PŘÍLOH.....	52

## ÚVOD

Malé vodní nádrže jsou charakterizovány objemem při normální hladině do 2 mil. m<sup>3</sup> a největší hloubkou do 9 m. Jsou budovány k různým účelům: ochranné (retenční) nádrže (k ochraně před povodněmi nebo vodní erozí), rybochovné nádrže čili rybníky, nádrže na ochranu flory a fauny, rekreační nádrže, hospodářské (např. protipožární) a další. [1]

Již v předhistorické době bylo pro člověka důležité potřebné množství vody v jednotlivých fázích vegetační periody. Výstavbou nebo obnovou nádrže lze, krom stanoveného účelu, docílit řady dalších příznivých efektů. Především dojde ke zvětšení zásoby vody v krajině s pozitivním dopadem na lokální zásoby podzemních vod. Nádrž také příznivě ovlivňuje průběh povodňových vod a přispívá k ochraně našeho životního prostředí. [1], [2]

Předmětem této diplomové práce je rekonstrukce malé vodní nádrže v katastru obce Pucov. Nádrž byla budovaná jako zásobní nádrž pro nedaleký kravín. V dnešní době má plnit rybochovný účel avšak její technický stav je nevyhovující.

Práce vznikla ve spolupráci s firmou VZD Invest s. r. o., která má dlouholeté zkušenosti s rekonstrukcemi vodních nádrží. Finanční zdroje na rekonstrukce jsou získávány z podpory Ministerstva zemědělství. Každá vodní nádrž je (dle § 4 zákona č. 114/1992, Sb., o ochraně přírody a krajiny) významným krajinným prvkem. Proto jsou různé výstavby a obnovy objektů na zadržení vody v krajině s ochranou životního prostředí podporovány od státu.

## 1 HISTORIE RYBNÍKÁŘSTVÍ V ČR

Umělé vodní nádrže byly v Čechách budovány pravděpodobně již v 8. a 9. století našeho letopočtu. Konkrétně rybníky přinášely vysoké příjmy a zvýšení kvality hospodářství. [2]

Na začátku 14. století za rytířských výprav krále Jana Lucemburského získali šlechticové mnohé poznatky. Následně začali zpevňovat hráze, bezpečnostní přelivy a byly zaváděny čepy u výpustních trub. Rybníkářství bylo velmi rozvinuté, a ryby byly prodávány na trhy do Vídně a Pasova. [3]

Počátkem 15. století první éra rybníků skončila. Během husitských válek bylo mnoho hrází zničeno. [2]

Vilém z Pernštejna (1435–1521) zaujímal nejpřednější místo v oblasti rybníkářství, vybudoval mnoho rybníků na Moravě např. Bezděv u Hluboké nad Vltavou. Byl znalcem vodního práva a po jeho smrti vyšla publikace „Instrukce rybní pro panství Podštýnské a Libické“. Byla to první publikace svého druhu. [2]

Kolem roku 1475 rozvíjeli rybníkářství Rožmberkové na Třeboňsku. Zasluhou Štěpánka Nekatolického byla v letech 1506–1520 postavena Zlatá stoka, kanál dlouhý 40 km. Umožnila zlepšení zásobování vodou rybníků a vybudovat další velké rybníky. Současně vznikaly také jiné rybniční soustavy, např. na Chlumecku vybudoval Mikuláš Ruthard první údolní přehradu. Její hlavní funkcí bylo ochrana před povodněmi. [3]

V letech 1535-1694 Jakub Krčina rozšířil Štěpánkovy rybníky a odvedl vodu z Rožmberka do jiného toku, aby nevznikaly záplavy území. Následně v Česku začala stagnace až do 19. století. [2]

V roce 1890 bylo na území Česka v důsledku obrovských povodní zničeno velké množství rybníků. Situaci neprospělo ani následné válečné období. Rybníkářství bylo znovu podporováno až v letech 1970 až 1980. Pomalu jsou rekonstruovány rybníky a budovány líhně. [2]

Minulý rok vypsalo Ministerstvo zemědělství dotační program č. 129 280 „Podpora retence vody v krajině – rybníky a vodní nádrže“, díky kterému mohou být realizovány projekty až do roku 2021. Tímto způsobem se snaží stát obnovovat a budovat objekty pro zadržení vody v krajině. [4]

## 2 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

V této kapitole bude vysvětlena malá vodní nádrž jako objekt rekonstrukce této diplomové práce. Následným vysvětlením jednotlivých konstrukčních prvků nádrže bude ukázán princip výpočtu malé vodní nádrže (dále jen „MVN“).

### 2.1 Charakteristika

Jako vodní nádrž je označován prostor k dlouhodobějšímu zadržení vody. Vzniká přirozeně (přírodní vodní nádrž – jezero) nebo uměle výstavbou přehradní hráze na vodním toku. Umělá vodní nádrž odpovídá definici vodního díla podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách: „Vodní díla jsou stavby, které slouží ke vzdouvání a zadržování vod, umělému usměrňování odtokového režimu povrchových vod, k ochraně a užívání vod, k nakládání s vodami, ochraně před škodlivými účinky vod, k úpravě vodních poměrů nebo k jiným účelům sledovaným tímto zákonem“. [5]

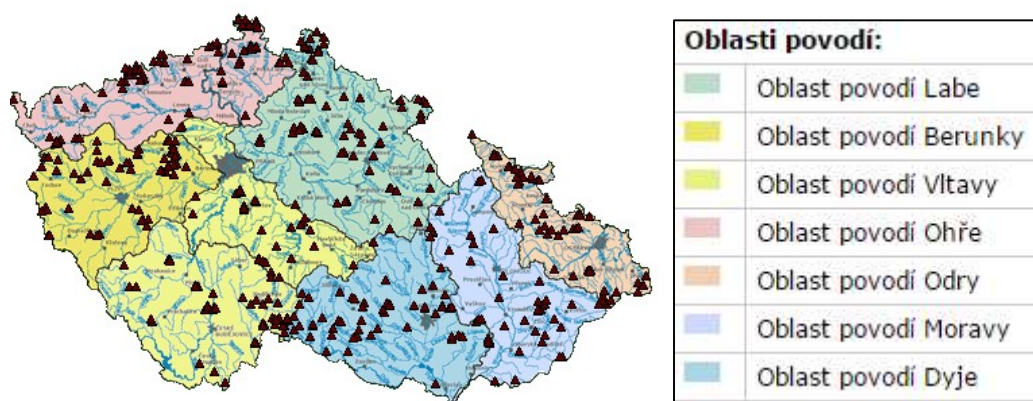
Umělé vodní nádrže mají v České republice dlouhou historii, geomorfologie země poskytuje skvělé podmínky pro jejich výstavbu. Každá vodní nádrž je součástí krajinného celku a je potřeba ji vhodně umístit. Různé plochy mají z ekologického hlediska různou hodnotu. Výstavba nádrže by měla připadat v úvahu pouze tam, kde ekologickou hodnotu proti současnému stavu pozvedne. Naproti tomu třeba území degradované zemědělským obhospodařováním, s vodním režimem rozvráceným odvodňovacími zařízeními a technickými úpravami vodních toků, může být výstavbou MVN obohaceno. [6]

Nádrže, které jsou označovány, jako malé, mají dle ČSN 75 24 10 *Malé vodní nádrže*, své typické vlastnosti a to [7]:

- zadržují objem do 2 milionů m<sup>3</sup> vody,
- největší hloubka nádrže je do 9 m.

Norma platí pro sypané hráze, je doporučována i pro rekonstrukci historických rybníků, které překračují typické vlastnosti MVN. Pro nádrže, které ohrožují lidský život, však tato norma neplatí. [8]

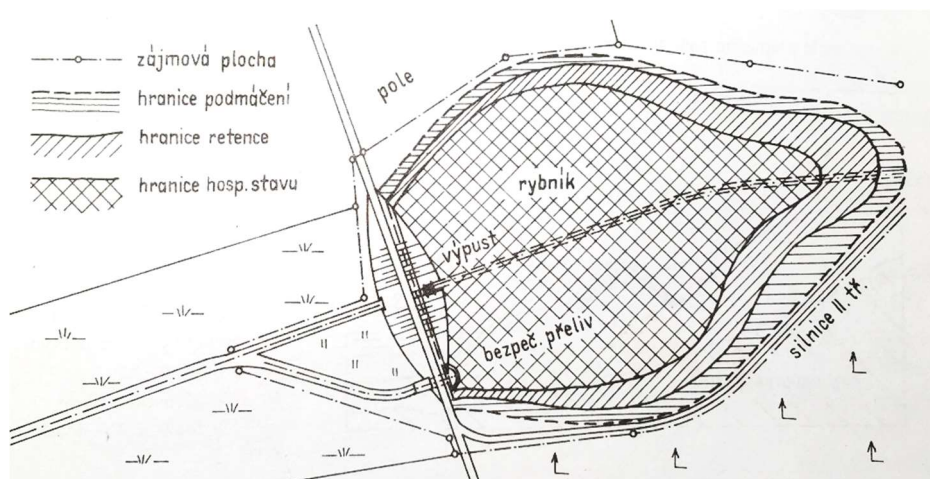
Ve správě státního podniku Lesy ČR je 829 MVN s celkovou plochou 38 tisíc km<sup>2</sup>. Na obr. 1 jsou černými trojúhelníky znázorněny MVN a dle barvy jsou rozděleny dle příslušného povodí. [9]



**Obr. 1** Malé vodní nádrže v ČR podle Lesy ČR [10]

## 2.2 Jednotlivé prvky MVN

Obvyklými konstrukčními prvky MVN jsou hráz, spodní výpust a bezpečnostní přeliv, příklad uspořádání je možné vidět na obr. 2.



**Obr. 2** Příklad uspořádání konstrukčních prvků u MVN [2]

Tyto konstrukce, které jsou nově budovány nebo rekonstruovány, musí být navrženy podle platných předpisů. [10]

Při stanovení a posuzování návrhových parametrů MVN je v České republice postupováno zejména podle [7]:

- vyhlášky č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla,
- ČSN 75 2340 Navrhování přehrad - Hlavní parametry a vybavení,
- ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží,
- ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže,

- TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních,
- TNV 75 2415 Suché nádrže.

Zajištění bezpečnosti vodních děl je v obecné rovině upraveno zákonem č 254/2001 Sb., o vodách. [7]

### 2.2.1 Hráz a zátopa

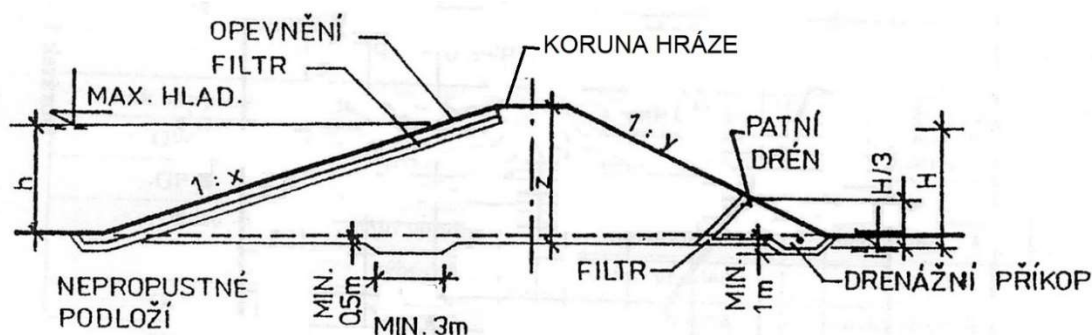
Základním stavebním prvkem většiny MVN je hráze. Tvoří bariéru a zachytává vodu v údolí, čím tvoří zátopy. Návrh výšky koruny, nejvyššího místa hráze, je stanoven na základě batygrafických čar (viz. kapitola 2.4.2). K výstavbě hráze jsou používány zeminy z místních zdrojů, které jsou do tělesa hráze ukládány většinou nasypáváním. [2]

Pro homogenní hráze, stavěné z jednoho druhu materiálu, lze obecně říct, že vhodným stavebními zeminami jsou jílovitopísčité zeminy. [2]

Hráz je navrhována v příčném profilu lichoběžníková. Sklony svahů vyplývají z požadavku na stabilitu hráze a z předepsaného stupně bezpečnosti. Liší se dle materiálu použitého pro stavbu hráze. Šířka koruny hráze závisí na požadavku převedení komunikace a na technologii provádění vlastní hráze. Pro občasný průjezd vozidel se navrhuje průjezdná šířka koruny min. 3,5 m. Příklad uspořádání funkčních prvků hráze je na obr. 3. [2]

Celková výška hráze je dána součtem [2]:

- hloubky odstraněné humusové vrstvy ze základové spáry,
- největší hloubky vody u hráze při naplněném zásobním prostoru,
- hloubky ochranného prostoru,
- hodnoty bezpečnostního převýšení koruny hráze nad maximální hladinou vody.



Obr. 3 Vzorový řez hráze [2]

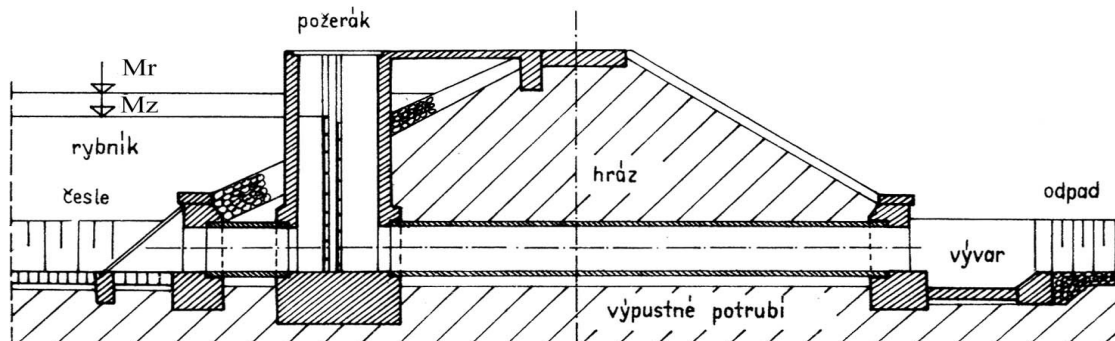
Opevnění návodního svahu hráze chrání těleso hráze před působením ledu, vln, dešťových srážek a jiných rušivých jevů. Zasahuje min. 0,5 m nad hladinu stálého nadržení vody a je zavazována do opěrné patky. Při sklonech 1:1,5 až 1:2 je navrhována kamenná dlažba nebo rovinanina. Při menších sklonech je používán kamenný nebo štěrkový pohoz. [2]

Rybniční nádrže umísťované do přírodního prostředí vyžadují poměrně rozsáhlé úpravy dna a břehů s ohledem na hygienické, estetické a provozní podmínky zatopení. [6]

### 2.2.2 Výpustné zařízení na rybnících

Výpustné zařízení slouží k regulovanému vypouštění vody z rybníka, jsou umísťovány do nejnižšího místa nádrže, tak aby bylo možno nádrž zcela vypustit a odvodnit. [2]

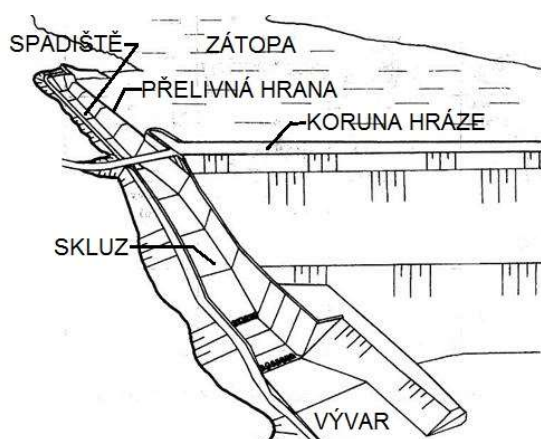
Obvykle jsou navrhovány trubní výpustě. Ve většině případů se jedná o trubní výpust požerákového typu a trubní výpust hrazenou kanalizačním šoupátkem (obr. 4). Otevřené výpustné zařízení na návodní straně se mohou vyskytovat spíše na historických nádržích, stejně jako lopatkové nebo šikmé stavidlové uzávěry. [7], [11]



Obr. 4 Vzorový řez spodních výpustí [2]

### 2.2.3 Bezpečnostní přeliv

Stavba je určena na ochranu před velkými vodami a k neškodnému převedení povodňových vod. Touto stavbou je vybavována každá nádrž, do níž může vniknout nadměrné množství cizí vody, která by mohla ohrozit bezpečnost nádrže, narušit zemní hráz a způsobit havárii. K ochraně před velkými vodami je navrhován bezpečnostní přeliv jako objekt vodního díla, který slouží jako ochrana proti přelití hráze. Umožňuje bezpečný odtok přebytečné vody (např. při povodni) přes hráz. Přeliv se dle typu skládá z přelivné hrany (hrazené nebo nehrazené), spadiště, odpadu, skluzu a vývařiště (obr. 5). [2]



**Obr. 5** Vzor skladby bezpečnostního přelivu [2]

### 2.3 Účel výstavby

MVN jsou budovány k různým účelům [8]:

- zásobní nádrže (vodárenské, průmyslové, závlahové, energetické, kompenzační, zálohové, retardační),
- ochranné (retenční) nádrže (poldry, protierozní, dešťové, vsakovací, nárazové),
- nádrže upravující vlastnosti vody (chladicí předehřívací, usazovací, aerobní, biologické, anaerobní biologické, dočišťovací),
- rybochovné nádrže (výtěrové, třecí, plůdkové výtažníky, výtažníky, komorové, hlavní, speciální komory, karanténní, sádky),
- hospodářské nádrže,
- speciální nádrže (speciální, recirkulační, vyrovnávací, přečerpávací, rozdělovací),
- asanační nádrže (záchytné, skladovací, otevřeně vyhnívací, rekultivační, laguny),
- rekreační nádrže (přírodní koupaliště, pro plavání a vodní sporty),
- nádrže krajinyotvorné a nádrže v obytné zástavbě (hydromeliorační, okrasné, návesní rybníčky, umělé mokřady),
- nádrže na ochranu (flory, fauny).



Vodní nádrž může mít řadu dalších účelů. Kromě tradičního chovu ryb, může být užívána jako stanoviště vodních a mokřadních živočichů a rostlin, přispět k protipovodňové ochraně nebo sloužit k rekreaci. [10]

Nejběžnějším typem MVN jsou rybníky (např. rybník Pod Kravínem, viz obr. 6). Základní definice říká, že rybník je uměle vybudovaná vypustitelná vodní nádrž sloužící k chovu ryb. Existence rybníka přináší i řadu dalších neméně důležitých účelů [3]:

- vodohospodářských,
- ekologických,
- klimatických,
- krajinných atd.



**Obr. 6** MVN Pod kravínem

### **2.3.1 Poloha a umístění rybníků**

Rybníky jsou budovány na místech se zdrojem vody, který může být málo vydatný, popř. nestálý. Aby mohl být určený objem rybníka a jeho vodohospodářský plán, je potřeba znát druh a vydatnost vodního zdroje. Zdrojem vody může být voda povrchová, podzemní nebo odpadní. Povrchová voda je nejčastějším a nejvydatnějším zdrojem vody pro rybníky, proto umožňuje navrhovat i rozsáhle rybníční soustavy. [2]

Zákonitostmi časového a prostorového rozdělení povrchové vody se zabývá hydrologie. Zdroje vody, vyskytující se v přírodě, sleduje podle důležitosti Český hydrometeorologický ústav (dále v textu ČHMÚ). Odtud jsou získávány podklady pro návrh vodohospodářského plánu rybníků. [2]

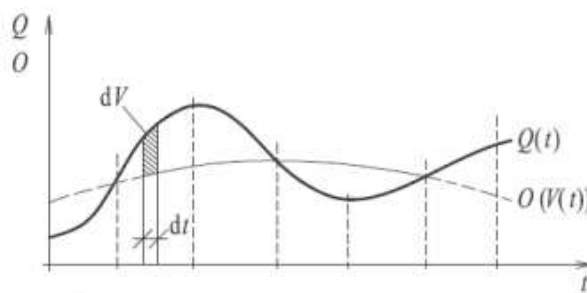
## 2.4 Princip výpočtu základních charakteristik

Výsledkem vodohospodářského řešení jsou základní charakteristiky nádrže: objemy jednotlivých prostorů, kóty hladin odpovídající jednotlivým prostorům, objemy ztrát, kapacity přepadů, výpustí a odběrních zařízení. [12]

### 2.4.1 Základní rovnice nádrže

Rybníky umožňují jednorocní nebo sezónní regulování odtoku, víceleté vyrovnaní odtoku je neekonomické. Stávající rybník ovlivňuje průtoky pod hrází a okolní prostředí. [2]

Pro výpočet regulování odtoku je používána rovnice, která udává vztah mezi přítokem vody do nádrže  $Q(t)$ , odtokem vody z nádrže  $O(V(t))$  a objemem vody v nádrži  $V(t)$ . Rovnice (1) se nazývá tzv. základní rovnice nádrže, její průběh je znázorněn na obr. 7.



**Obr. 7** Časový průběh přítoku a odtoku z nádrže [13]

Změna objemu vody v nádrži (obr. 7) je definována základní diferenciální rovnicí prvního řádu, která plyne ze zákona zachování hmotnosti [13]:

$$\frac{dV}{dt} = Q(t) - O(V(t)) \quad (1)$$

kde:	$dV/dt$	$[m^3/s]$	- okamžitá změna objemu vody v nádrži,
	$Q(t)$	$[m^3/s]$	- přítok vody do nádrže,
	$O(V(t))$	$[m^3/s]$	- odtok vody z nádrže.

Výše uvedená rovnice plyne ze zákona zachování hmotnosti za předpokladu nestlačitelné kapaliny.

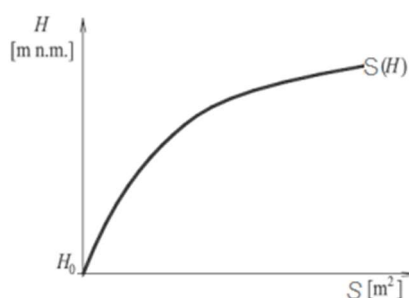
V uvedených vztazích je odtok funkcí objemu v čase  $t$ , protože základní funkce nádrže vyjadřuje časové přerozdělení průtoků. Plnění nádrže nastává za

nadbytečného průtoku vody v přírodním toku. Naopak v málo vodném období je naopak schopna nadlepšovat malé průtoky vody v toku, což je projevem jejím prázdňem. Analogicky při průchodu povodně je v nádrži shromažďováno nadbytečné množství vody, což přispívá ke snížení průtoků vody v toku. Tato voda je pak bezpečně z nádrže vypouštěna až po ukončení povodňových průtoků. [13]

### 2.4.2 Batygrafické křivky

Morfologie údolí každé nádrže je popsána charakteristikami nádrže (batygrafickými křivkami). Základní charakteristikou nádrže jsou čáry zatopených ploch a objemů. [3]

**Čára zatopených ploch  $S(H)$**  udává závislost mezi nadmořskou výškou vodní hladiny  $H$  a její plochou  $S$  (viz obr. 8). Čára zatopených ploch je určována z vrstevnicového plánu [3].

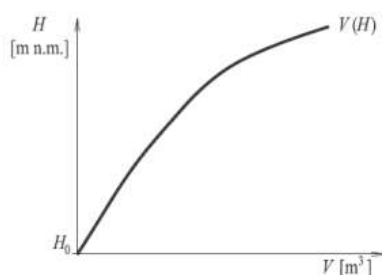


Obr. 8 Čára zatopených ploch [13]

**Čára zatopených objemů  $V(H)$**  udává závislost mezi nadmořskou výškou vodní hladiny  $H$  a příslušným plněním nádrže  $V$  (viz obr. 9). Je odvozována z čáry zatopených ploch pro dílčí nadmořskou výšku vzorcem 1 [3]:

$$V = (z_{i+1} - z_i) \cdot \frac{S_{i+1} + S_i}{2} \quad (1)$$

kde:	$V$	$[m^3]$	- zatopený objem vody v nádrži,
	$z_i$	$[m \text{ n. m.}]$	- dílčí geodetická výška,
	$S_i$	$[m^2]$	- dílčí zatopená plocha vody v nádrži.



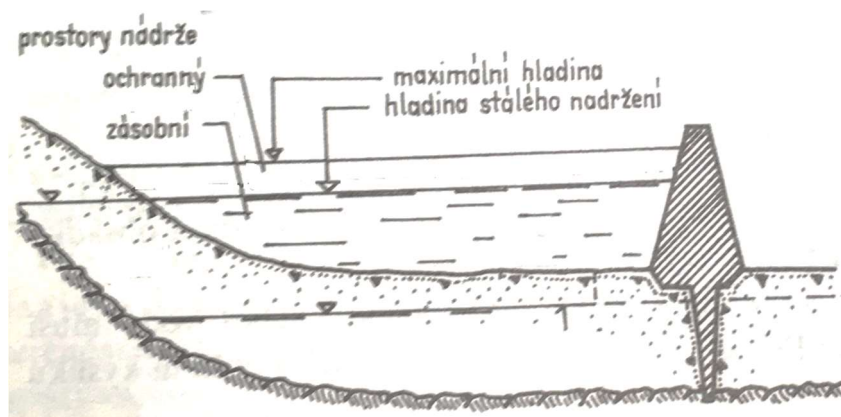
Obr. 9 Čára zatopených objemů [13]

Z batygrafických čar je určen návrh maximální hladiny vodní nádrže a výška koruny hráze [3].

### 2.4.3 Rozdělení prostorů a hladin v nádrži

Podle způsobu hospodaření s vodou v jednotlivých částech nádrže je dělen celkový objem nádrže na několik částí (viz obr. 10). Základné rozdělení zátopy je u MVN na [7]:

- zásobní prostor,
- ovladatelný retenční (ochranný) prostor.



Obr. 10 Dělení objemů nádrže [2]

**Zásobní objem** zátopy leží nad hladinou stálého prostoru zpravidla po přelivnou hranu bezpečnostního přepadu. Hladina zásobního objemu je často označována jako hladina stálého nadržení (viz obr. 10). Stálý prostor je určen k usazování nánosů a u rybníků je tenhle prostor zanedbáván. Je celý ovládán výpustným zařízením a slouží k zabezpečení odběru vody v suchém období (závlaha, nadlepšení průtoku apod.). U rybníků sahá nejčastěji až po dno a je ze všech prostorů nejobemnější. Jeho velikost závisí na velikosti napájecího zdroje, na konfiguraci terénu a na velikosti odběru. [2]

**Ovladatelný retenční prostor (ochranný)** leží mezi přelivnou hranou nehrazeného bezpečnostního přepadu a nejvyšší přechodně vzdutou hladinou. Je vyhrazen k zachycování povodní a jejich snižování. Jeho objem a s ním související bezpečnostního přepadu určujeme na základě maximálního průtok a objemu povodňové vlny. Jeho výška je u rybníků malá, retence má spíše charakter horizontální než vertikální. [2]

Hydrologické podklady jsou děleny na údaje pro výpočet zásobního prostoru, ochranného prostoru a údaje pro vodoprávně zabezpečený průtok. [7]

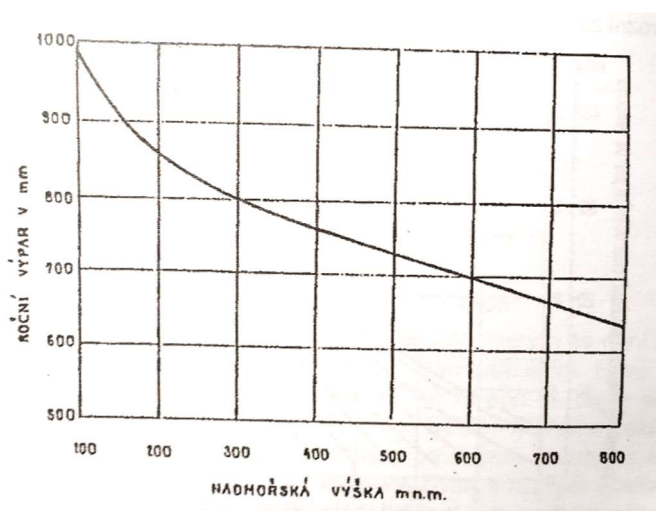
#### 2.4.4 Určení zásobního prostoru nádrže

Velikost zásobního prostoru je určována z řady naměřených průměrných měsíčních průtoků z podkladů ČHMÚ. Avšak nejvhodnějším podkladem je řada naměřených měsíčních průtoků pro suchý rok.

Při každém výpočtu bilance je určen minimálního objem, který je důležitý pro zachování života v toku, z hygienického a ochranného hlediska životního prostředí. [11]

Řešení vodohospodářské bilance zohledňuje požadavky mezi odběrem vody a kapacitou zdroje. Důležitou roli hrají ztráty vody, které jsou přičítány k vlastnímu odběru, či jinému nároku na zdroj vody. U vodohospodářského řešení MVN se jedná o ztráty výparem z vodní hladiny a vodních rostlin, infiltrací do dna nádrže, provozní, průsakem hrází a podloží hráze. [7]

**Ztráty výparem** z vodní hladiny je možné u MVN, dle ČSN 75 2410 počítat s využitím nomogramu (obr. 11). Na základě známe nadmořské výšky je odečten roční výpar. Následně je táhle hodnota rozpočítaná podle procentuálního ročního rozdělení, uvedeno v tab. 1. [7]



**Obr. 11** Nomogram pro stanovení výparu podle ČSN 75 2410 [7]

**Tab. 1** Rozdělení ročního výparu podle ČSN 75 2410 [7]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Procento ročního výparu	2	2	4	6	11	15	18	17	12	7	4	3

Zvýšení výparu v závislosti na procentu zarostlé plochy je možné zjednodušeně počítat vynásobením výparu z vodní hladiny opravným součinitelem podle tab. 2 v růstové fáze vegetace (květen až říjen). [7]

**Tab. 2** Stanovení opravného koeficientu podle procenta zarostlé plochy [2]

podíl zarostlé plochy [%]	10	30	50	75
opravný součinitel	1,03	1,08	1,14	1,22

**Ztráty infiltrací do dna** jsou počítány při prvním napuštění nádrže, nebo když by nádrž nebyla ihned napuštěna. Ztráty závisí na vlastnostech dna: ploše, morfologii, hloubce vysušení půdního profilu, geologii podloží. [7]

**Provozní ztráty** jsou počítány například k proplachování rybochovných nádrží, kde je potřeba stálý přítok vody. Dále sem patří ztráty z netěsností provozních uzávěrů, které udává výrobce zařízení. [7]

**Ztráty průsakem hrází a jejím podložím** jsou stanoveny podle specifického průsaku pro homogenní hráz na nepropustném podloží, kde výsledkem je rovnice depresní křivky. [7]

Specifický průsak je stanoven dle vztahu (2) [7]:

$$q = k \frac{H^2}{2L} \quad (2)$$

kde:  $q$  [m<sup>3</sup>/s/m] - specifický průsak,  
 $k$  [m/s] - hydraulická vodivost zeminy hráze,  
 $H$  [m] - zásobní hloubka vody v nádrži,  
 $L$  [m] - délka průsakové křivky.

Délka průsakové křivky je stanovena dle vztahu (3) [7]:

$$L = \lambda H + A + B + C \quad (3)$$

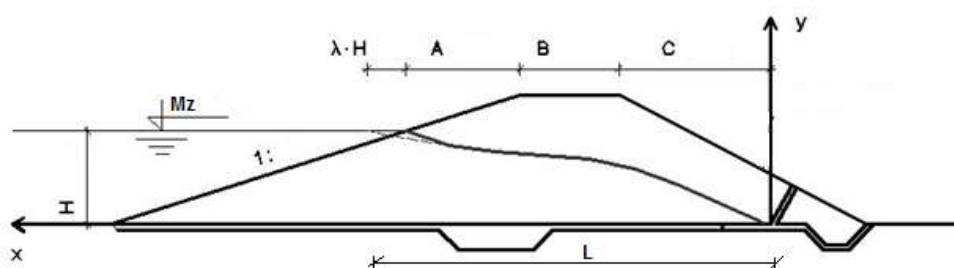
kde:  $H$  [m] - zásobní hloubka vody v nádrži,

$A, B, C$  [m] - vzdálenosti dle obr. 12.

Součinitel  $\lambda$  je stanoven dle vztahu (4) [7]:

$$\lambda = \frac{m}{1+2m} \quad (4)$$

kde:  $m$  [m] - sklon návodního líce.



**Obr. 12** Schéma veličin - Výpočet průsaku homogenní hrází na nepropustném podloží [7]

Vodohospodářská bilance je následně prováděna na základě celkového přítoku vody do nádrže a odtoku. Z řady měsíčních průtoků jsou odečteny ztráty případně odběry a vypočte se zůstatek vody na konci měsíce. Kladný rozdíl znamená krytí potřeb a ztrát z přítoku, v případě záporného rozdílu kryje deficit zásobní objem nádrže. [3]

#### 2.4.5 Určení ovladatelného retenčního prostoru nádrže

K dimenzování ochranného objemu je nutno znát návrhovou povodňovou vlnu, charakterizovanou vrcholem, tj. maximálním průtokem, průběhem vlny a objemem povodňové vlny. Tvar povodňové vlny při malých povodních předpokládáme trojúhelníkový s vrcholem rovným maximálnímu průtoku. Trvání vstupní větve se rovná kritickému času  $t_k$  a doba poklesu je dána časovou hodnotou v rozmezí  $t_k$  až  $2 t_k$ . Velikost ochranného prostoru je určena dle objemu povodňové vlny, který je potřeba transformovat, zpracovat. [2]

Pro výpočet transformace povodňové vlny je potřeba znát měrnou křivku odtoku bezpečnostního přelivu i výpustního zařízení. [3]

Výchozím podkladem pro výpočet měrné křivky bezpečnostního přelivu je návrhový průtok. Každá MVN je zařazena Vyhláškou č. 255/2010 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly do kategorie podle míry bezpečnosti. Technické požadavky pro vodní díla stanoví

*Vyhláška č. 367/2005 Sb., kterou se mění Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla. Zařazením díla do kategorie (I. – IV.) je určena požadovaná míra bezpečnosti vodního díla. [12]*

**Bezpečnostní přeliv** je navrhován za předpokladů, že jsou uvažovány [3]:

- nehrazené přelivy bez obsluhy,
- otevřené přelivy, nikoliv trubní.

Výpočet rozměrů bezpečnostního přelivu je závislý na délce přelivné hrany a výšce přepadového paprsku při průchodu návrhového kulminačního průtoku. Průtok přes korunu přelivu je dán vztahem (5) [3]:

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

kde:  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] - návrhový kulminační průtok ( $Q_{100}$ ),  
 $m$  [-] - součinitel přepadu,  
 $b$  [m] - délka přelivné hrany,  
 $h$  [m] - výška přepadového paprsku při návrhovém průtoku.

Výška přepadového paprsku u MVN je volena v rozmezí 0,3 – 0,6 m. [3]

Dalšími prvky bezpečnostního přelivu je spadiště, skluz a vývar, které musí vyhovět následujícím podmínkám [3]:

- hloubka spadiště musí vyhovět podmínce  $2h_k$  ( $h_k$  – kritická hloubka vody) při  $Q_{100}$ ,
- minimální šířka spadiště je 2 metry,
- skluzem je prováděn průtok  $2Q_{100}$  s minimální hloubkou  $1,8h_k$ ,
- vývar zajistí tlumení energie vodním skokem vzduťm podle vzorce 7.

Kritická hloubka  $h_k$  je vypočtena pro obdélníkový průřez ze vztahu (6) [13]:

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}} \quad (6)$$



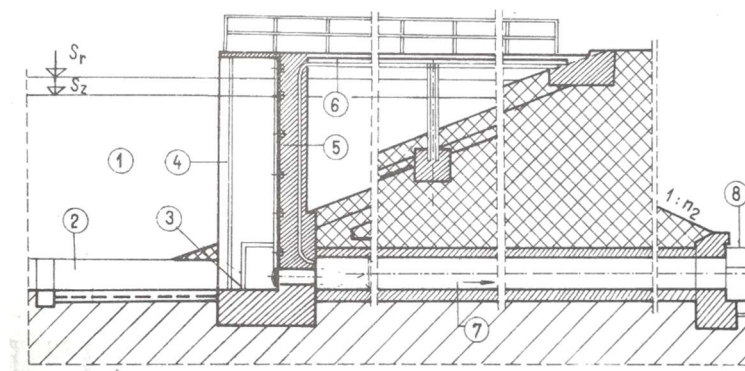
kde:  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] - návrhový kulminační průtok,  
 $\alpha$  [-] - Coriolisovo číslo,  
 $b$  [m] - délka přelivné hrany,  
 $g$  [m/s<sup>2</sup>] - tíhové zrychlení.

Podmínka tlumení energie vodním skokem je splněná vzorcem 7 [14]:

$$\sigma = \frac{h_d + d}{h_2} = (1,05 - 1,1) \quad (7)$$

kde:  $\sigma$  [-] - míra vzdutí,  
 $h_d$  [m] - hloubka vody v korytě pod vývarem,  
 $d$  [m] - hloubka vývaru,  
 $h_2$  [m] - druhá vzájemná hloubka.

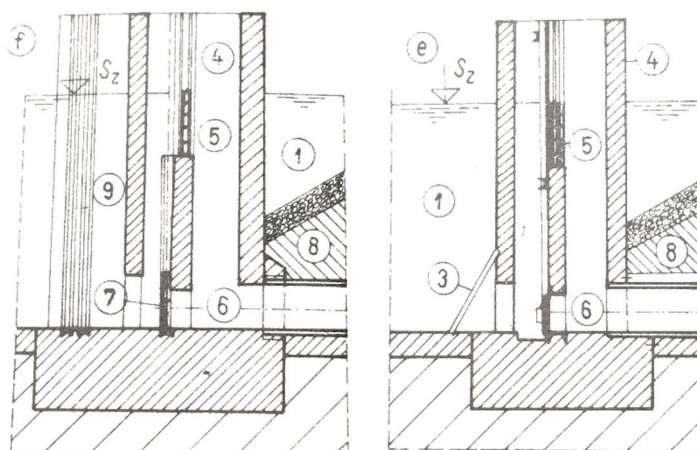
**Výpustné zařízení** je dimenzované podle zvoleného konstrukčního uspořádání jednotlivých částí například podle obr. 13. [2]



**Obr. 13** Schéma výpustného objektu s plochým kanalizačním šoupátkem [2].

1 – nádrž, 2 – přívodní potrubí do požeráku, 3 – česle, 4 – provizorní hrazení,  
 5 – výpustní objekt s kanalizačním šoupátkem, 6 – lávka, 7 – výpustní potrubí,  
 8 – vývar

U kombinovaných požerákových výpustí, příklady uspořádání jsou na obr. 14, je počítána kapacita přelivu podle vzorce 5. Pro regulaci hladiny jsou využívány dluže. Minimální výška přepadového paprsku  $h$  je rovna šířce dluže a maximální výška je rovna šířce dvou dluží. [2]



**Obr. 14** Typy kombinovaných požeráků [1]

1 – rybník, 3 – česle, 4 – požerák, 5 – dlužová stěna, 6 – odpadní potrubí, 7 – výpust, 8 – hráz, 9 – provizorní hrazení

Když maximální hladina klesne vydlužením o 3 metry, bude otevřeno výpustné zařízení, kterého kapacita je vypočtena podle vzorce (8) [2]:

$$Q = \mu \cdot S_d \cdot \sqrt{2gH} \quad (8)$$

kde:  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] - průtok vody potrubím,  
 $S_d$  [m<sup>2</sup>] - průřezová plocha potrubí,  
 $\mu$  [-] - výtokový součinitel,  
 $g$  [m/s<sup>2</sup>] - tíhové zrychlení,  
 $H$  [-] - hloubka vody.

Celková doba prázdnění nádrže je závislá na objemu nádrže a odtokových křivkách výpustného zařízení.

Výstupem výpočtů je odtoková křivka, která je funkcí průtoku a výšky hladiny. Následně je proveden výpočet transformace povodňové vlny, kterým je stanovena kontrolní maximální hladina. Jestli navržené parametry bezpečnostního přelivu nevyhoví, je potřebné upravit parametry bezpečnostního přelivu, případně výpustného zařízení [3].

### 3 ÚČEL A POPIS MVN POD KRAVÍNEM

Stávající MVN Pod kravínem byla postavena kolem roku 1970 nad obcí Pucov. Svůj název jsi získala podle její závlahové funkce. Jako závlahová nádrž plnila svůj účel pro nedaleký kravín, v současnosti už tuto funkci neplní.

#### 3.1 Geografický popis

Rybník Pod kravínem se nachází v katastru obce Pucov, v okrese Třebíč. Obec Pucov má 162 obyvatel a rozlohu 4,91 km<sup>2</sup> [15]. Lokalizace předmětného území v rámci České republiky je znázorněna na obr. 15, detailnější lokalizace je obsažena v příloze 1.

Okres Třebíč je okresem v kraji Vysočina, celý okres leží na Moravě. Jeho sídlem je město Třebíč. Téměř na celém území okresu se rozkládá Českomoravská vrchovina, severně od Náměště nad Oslavou se nachází i určitá část Bítešské vrchoviny. Okresem protéká řeka Jihlava, jež tvořila přirozenou jihovýchodní hranici okresu. Dalšími významnějšími řekami protékajícími okresem jsou: Rokytná, Oslava, Jevišovka či Želetavka. [16]

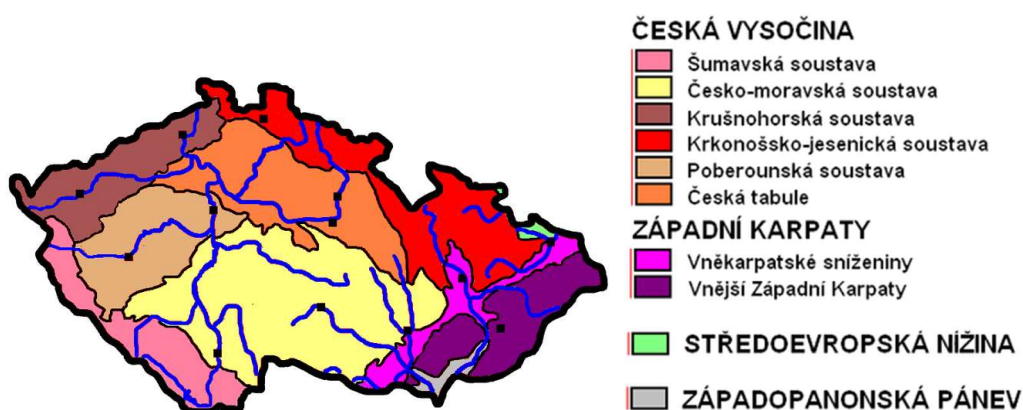
Kraj Vysočina, který se rozprostírá ve středu Česka. Kraj tvoří Českomoravská vrchovina se svou nádhernou a velmi zachovalou přírodou. Rozvodí moří táhnoucí se od severovýchodu na jihozápad dělí kraj na dvě téměř stejné části. Úmoří Severního moře zasahuje do kraje povodím Labe, Labe samo však krajem neprotéká a vody do něj odtékají řadou menších řek, z nichž k těm důležitějším patří Sázava. Obdobně jihovýchodní polovina kraje patří k úmoří Černého moře a povodí Dunaje, ale do kraje povodí zasahuje menšími řekami, např. Svratkou či Jihlavou. [16]



Obr. 15 Mapa širších vztahů

#### 3.2 Geomorfologické poměry

Kraj Vysočina s celkovou rozlohou 6 925 km<sup>2</sup> se nachází v centrálních oblastech Českomoravské vrchoviny, která patří do Česko - moravské soustavy (viz obr. 16). [17]



Obr. 16 Geomorfologické rozdělení ČR

Bítešská vrchovina je severovýchodní část Křižanovské vrchoviny, která je částí Českomoravské vrchoviny. Charakteristikou pro plochou vrchovinu je složení z krystalických břidlic (hlavně ruly) a vyvřelin, s občasným výskytem ostrůvků mořských neogenních usazenin. Plochý povrch vrchoviny je dobře přizpůsoben odolnosti hornin, místy jsou uchovány hluboké tropické zvětraliny. Neogenní sedimenty jsou místy v údolích řek. V území převažují hnědé půdy a hnědé pudy kyselé (kambizemě) . [17]

### 3.3 Hydrologické poměry

Pucovský potok pramení v Přírodní památce Olšoveček. Jedná se o lesní komplex, 0,5 km jihovýchodně od obce Jindřichov, který se skládá ze dvojice rybníčků a úseku Pucovského potoka mezi nimi. Dále potok protéká údolím mezi stromy do bezejmenného rybníku a pokračuje mezi zemědělskou půdou do předmětného rybníku, kde představuje zdroj vody. Asi kilometr pod hrází protéká potok obcí Pucov, podle které se jmenuje. Následně se před městem Náměšť nad Oslavou vlévá do řeky Oslavy. Před Ivančicemi tvoří řeka Oslava levostranný přítok řeky Jihlavy, která se následně vlévá do vodní nádrže Nové Mlýny. Pod hrází už vytéká řeka Dyje, která přitéká do Moravy, následně do Dunaje až do Černého moře. [18]

Mapa širších vztahů je v příloze č. 1.

### 3.4 Klimatické podmínky

Podnebí je dáno zeměpisnou polohou. Nachází se v mírném pásmu evropském, charakterizována čtyřmi ročními obdobími, s mírnou zimou i létem.

Území obce Pucov se nachází podél řek Oslavy a Jihlavy. Jako nejjižnější část území kraje Vysočina je zde vyvinutá mírně teplá oblast, pro kterou je typických 40–50 letních dnů, 140–160 dnů s teplotou vyšší než 10 °C, 110–130 mrazových dnů, 30–40 ledových dnů. Průměrná teplota vzduchu v lednu se pohybuje

od - 2 až - 3 °C a v červenci 17 až 18 °C. Počet dnů se srážkami 1 mm a více je 90–100. Úhrn srážek ve vegetačním období se pohybuje od 350–400 mm a v zimním období 200–250 mm. [18]

## 4 TECHNICKÉ PARAMETRY, PODKLADY A HYDRAULICKÉ VÝPOČTY

Problematika konstrukčního řešení MVN sestává z několika dílčích úloh. První z nich je propočet výšek maximální a minimální hladiny. Na úvodní část přímo navazuje kalkulace objemů MVN. Tato zahrnuje stav zátopy, resp. transformaci povodňové vlny.

Samotná metodika výpočtů vychází z kap. 2.4 a čerpá zejména z literatury Vrána, Beran – Rybníky a účelové nádrže, 1998 a normy pro MVN (ČSN 75 2410).

### 4.1 Základní údaje a podklady

Pro detailní a konkrétní zmapování předmětného území je zapotřebí provést geodetické zaměření. S tím souvisí nutnost disponovat hydrologickými daty z databáze ČHMÚ. Zmíněné podklady byly poskytnuty projekční společností VZD Invest s. r. o.

Celé území určené pro rekonstrukci MVN v k. ú. Pucov, včetně okolního terénu a dalších prvků souvisejících s vykreslením a vytyčením navržené stavby bylo **geodeticky** zaměřeno. Součástí zaměření bylo rovněž doplnění charakteristických bodů a hran terénu pro snadnější a přehlednou orientaci v daném území. Předmětné území bylo zaměřeno v souřadnicovém systému S - JTSK a výškovém systému Bpv. Naměřená data byla zpracována výpočetním programem AutoCAD Civil 3D 2017, ve kterém byl vytvořen digitální model terénu.

ČHMÚ sleduje a měří toky v České republice. **Hydrologická data** pro Pucovský potok jsou součástí přílohy č. 3.

V neposlední řadě bylo provedeno místní šetření MVN Pod kravínem. Fotografická dokumentace stávajícího stavu je obsažena v příloze 5.

### 4.2 Stanovení kontrolní maximální hladiny

Z digitálního modelu terénu byly odečteny plochy  $S$  příslouchající dané nadmořské výšce  $z$ . Následně byl pomocí zjištěných ploch a výšek vypočítán zatopený objem  $V$  podle vzorce (1). Výpočet pro celý objem zátopy je uveden v tab. 3.

Vzorový výpočet zatopeného objemu  $V$ , třetí řádek:

$$z_{i+1} = 462,8 \quad [\text{m n. m.}] \quad - \text{ dílčí geodetická výška,}$$

$$z_i = 461,8 \quad [\text{m n. m.}] \quad - \text{ dílčí geodetická výška,}$$

$S_{i+1} = 3446$  [m<sup>2</sup>] - dílčí zatopený objem,

$S_i = 1051$  [m<sup>2</sup>] - dílčí zatopený objem.

$$V_3 = (462,8 - 461,8) \cdot \frac{3446+1051}{2} = \mathbf{2248 \text{ m}^3}$$

**Tab. 3** Hodnoty zatopených ploch a objemů.

Geodetická výška hladiny z	Dílčí plocha S	Zatopený objem V
[m n. m.]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
460,8	0	0
461,8	1 051	525
462,8	3 446	2 248
463,8	6 094	4 770
464,8	8 767	7 430
465,8	11 437	10 102
466,8	14 252	12 845
467,8	16 858	15 555
$\Sigma V$		<b>53 476</b>

Všechny hodnoty příslouchající dané geodetické výšce byly vyneseny do grafu batygrafických křivek (viz. příloha 6). Hodnota **maximální hladiny 467,80 m n. m.** byla stanovena z průniku křivek zatopených ploch a objemů. Koruna hráze je neměnná a zůstává na nejnižší hodnotě 468,66 m n. m. v souladu s geodetickým zaměřením. Maximální zatopený objem je 53 476 m<sup>3</sup> (viz tab. 3).

#### 4.2.1 Hydrologické podklady

Měsíční a roční řada naměřených průměrných průtoku (viz tab. 4 a 5) od ČHMÚ tvoří základní podklad pro výpočet bilance (viz příloha 7).

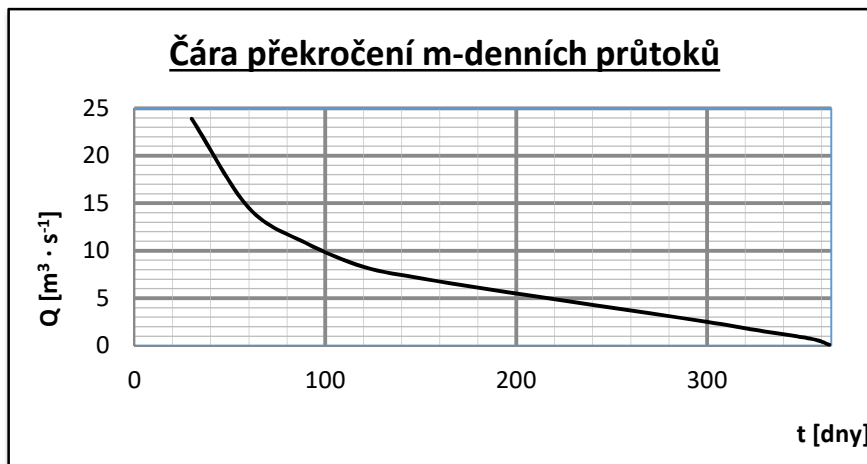
**Tab. 4** Průměrné měsíční průtoky (*m* - denní průtoky)

<i>m</i> [den]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q [l/s]	23,9	14,5	10,8	8,3	7,1	6,1	5,2	4,3	3,4	2,5	1,5	0,7	0,1

**Tab. 5** Průměrné roční průtoky (*N* - leté průtoky)

<i>N</i> [let]	1	2	5	10	20	50	100
Q [m <sup>3</sup> /s]	0,3	0,48	1	1,7	2,9	5,4	8,2

Pro sestavení křivky překročení jsou důležité hodnoty dlouhodobého, průměrného, měsíčního průtoku z dostupných dat od ČHMÚ. Základní parametry pro sestavení křivky (viz. obr. 17) jsou uvedeny v tab. 4.



**Obr. 17** Křivka překročení měsíčních průtoků

#### 4.2.2 Ztráty

Celkový **výpar** (tab. 6) byl odečten z nomogramu (obr. 11) podle nadmořské výšky 467 m n. m. Následně byl výpar rozpočítán na jednotlivé měsíce podle procentuálního zastoupení (tab. 1). Ve vegetačním období (květen až říjen) je hodnota výparu ještě násobená koeficientem 1,03 (viz. tab. 2) podle procenta zelených ploch. Tato hodnota činí 10 %.

Vzorový výpočet výšky výparu  $H_v$  pro měsíc VI (červenec):

procento výparu pro měsíc červenec:	15 [%] = 0,15 [-],
roční výpar (odečten z nomogramu obr. 11)	740 [mm],
koeficient pro 10 % zelených ploch	1,03 [-].

$$H_v = 0,15 \cdot 740 \cdot 1,03 = \mathbf{114 \text{ mm}}$$

Vzorový výpočet objemu výparu  $V_v$  pro měsíc VI (červenec):

výška výparu	$H_v = 114 \text{ [mm]} = 0,114 \text{ [m]},$
zatopená plocha při zásobní hladině	15200 [m²].

$$V_v = 0,114 \cdot 15200 = \mathbf{1738 \text{ m}^3}$$

**Tab. 6** Objem výparu rozpočítán podle procentuálního rozdělení



Měsíc		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Výpar	[mm]	15	15	30	44	84	114	137	130	91	53	30	22
Objem	[m <sup>3</sup> ]	225	225	450	675	1274	1738	2085	1970	1390	811	450	337

Specifický průsak na metr šířky hrází byl vypočten podle vzorců 2, 3, 4 a rozměrů z obr. 18 na hodnotu:

filtrační součinitel (dle ČSN 75 2410 pro jílu písčité)  $k = 1 \cdot 10^{-7} [-]$ ,

výška vody v nádrži po maximální hladinu  $H = 7 [m]$ ,

půdorysná délka průsakové křivky  $L = 28,4 [m]$ .

$$q = \frac{1 \cdot 10^{-7} \cdot 7^2}{2 \cdot 28,4} = 8,63 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

Výpočet půdorysné délky průsakové křivky  $L$  byl proveden podle vzorce 3:

součinitel zakřivení  $\lambda = 0,429 [-]$ ,

výška vody v nádrži po maximální hladinu  $H = 7 [m]$ ,

půdorysná vzdálenost hrany koruny a styku návodního líce s hladinou  $A = 5 [m]$ ,

šířka v koruně hráze  $B = 4 [m]$ ,

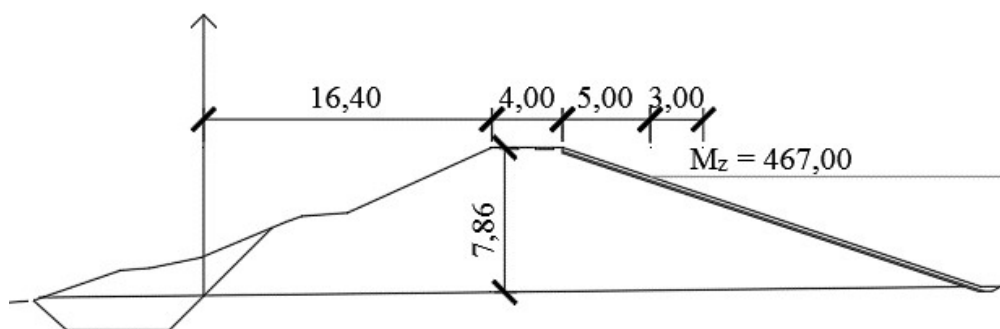
vzdálenost kraje koruny hrany a patního drénu  $C = 16,4 [m]$ .

$$L = 0,429 \cdot 7 + 5 + 4 + 16,4 = 28,4 \text{ m}$$

Součinitel  $\lambda$  byl vypočítán podle vzorce 4:

sklon návodního svahu hráze  $m = 3 [-]$

$$\lambda = \frac{3}{(1+2 \cdot 3)} = 0,429$$



**Obr. 18** Rozměry pro výpočet průsakové křivky MVN Pod Kravínem

Součinem specifického průsaku a průměrné délky hráze vyplývá celkový průsak hrází:

průměrná délka hráze  $b = 34,9 \text{ [m]},$

specifický průsak  $q = 8,63 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^3/\text{s /m ]}.$

$$Q = 8,63 \cdot 10^{-6} \cdot 34,9 = 3,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Jelikož se jedná o nádrž, která se po vypuštění opět ihned napouští, **ztráty průsakem do podloží** se neuvažují.

Provozní ztráty jsou zanedbány z důvodu příležitostní regulace nádrže.

Z důvodu výjimečné regulace nádrže jsou zanedbány rovněž provozní ztráty.

Celková vodohospodářská bilance pro jeden rok je shrnuta v tab. 7. Vychází ze součtu měsíční bilance (viz. příloha 7).

**Tab. 7** Roční vodohospodářská bilance

Roční přítok	$V_{\text{přít}}$	+247 242	m <sup>3</sup> /rok
Minimální nutný odtok	$V_{330}$	-47 304	m <sup>3</sup> /rok
Ztráta vody výparem a transpirací	$V_{\text{transp}}$	-23 181	m <sup>3</sup> /rok
Ztráta vody průsakem	$V_{\text{průsak}}$	-9 306	m <sup>3</sup> /rok
Odběr vody z nádrže	$V_{\text{odběr}}$	0	m <sup>3</sup> /rok
Zásobní objem nádrže	$V_z$	-43 400	m <sup>3</sup> /rok
CELKOVÁ BILANCE		+135 707	m <sup>3</sup> /rok

Zásobní objem nádrže byl stanoven na hodnotu 43 400 m<sup>3</sup>.

### 4.3 Stanovení ovladatelného retenčního prostoru

ČHMÚ zaznamenává a sleduje povodňové stavy. Z hydrogramu povodně (příloha 2) jsou patrné parametry povodňového průtoku:

- $Q_{100} = 8,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $V_{100} = 128 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ ,
- doba vzestupné části  $t = 4$  hodiny,
- celková doba povodně  $t = 30,5$  hodiny.

Pro kompletní výpočet je potřeba stanovit parametry bezpečnostního přelivu a výpustí.

#### 4.3.1 Výpočet bezpečnostního přelivu

Návrh bezpečnostního přelivu je závislý na třech parametrech:

- návrhový bezpečnostní průtok  $Q_{100}$  podle kategorie vodního díla (IV. kategorie – viz kap. 6.1),
- délka přelivné hrany  $b$ ,
- výška přepadového paprsku  $h$ .

Výpočet kapacity bezpečnostního přelivu podle vzorce 5:

součinitel přepadu (viz. stanovení níže)  $m = 0,32 - 0,42 [-]$ ,

délka přelivné hrany  $b = 12,2 \text{ [m]}$ ,

tíhové zrychlení  $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ ,

výška přepadového paprsku  $h = 0,6 \text{ [m]}$ ,

$$Q = 0,36 \cdot 12,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,6^2} = \mathbf{9,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}$$

Bezpečnostní přeliv při přepadové výšce 0,6 m převede  $9,04 \text{ m}^3/\text{s}$ , je tedy splněna návrhový průtok  $Q_{100} = 8,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Součinitel přepadu byl určen z přepadu přes obdélníkový průřez [19]:

tloušťka přelivné hrany  $t = 0,7 \text{ [m]}$ ,

výška přepadového paprsku  $h = 0,6 \text{ [m]}$ .

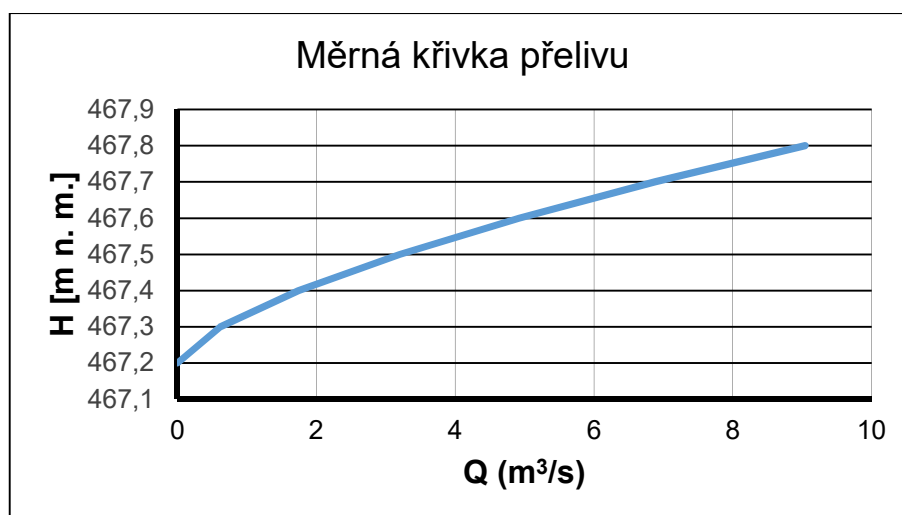
$$\frac{t}{h} = \frac{0,7}{0,6} = 1,2$$

Hodnota přepadového součinitele se mění v závislosti na přepadové výšce a je interpolována z následující tab. 8.

**Tab. 8** Přepadové součinitele obdélníkového jezu [19].

$t/h$	1:2	2:3	1	2	3
$m$	0,42	0,41	0,37	0,33	0,32

Dále byly do grafu 1 měrné křivky přelivu vyneseny hodnoty nadmořské výšky  $H$  [m n. m.] s příslušajícím přepadovým množstvím.



**Graf 1** Měrná křivka bezpečnostního přelivu

Další počítány prvky bezpečnostního přelivu jsou spadiště, skluz a vývar.

Návrhové parametry spadiště:

délka přelivné hrany	$b = 12,2$ [m],
šířka spadiště	$b_{sp} = 2,5$ [m],
návrhová kapacita	$Q_{100} = 8,2$ [m³/s],
kritická hloubka (viz. výpočet níže)	$h_k = 1,0$ [m],
sklon	$i_s = 1$ [%].

Hloubka spadiště byla vypočtena podle podmínky  $h_{sp} \geq 2 \cdot h_k$ ,  $h_{sp} = 2$  [m]. Výpočet kritické hloubky spadiště byl spočten podle vzorce 6:

návrhová kapacita

$$Q_{100} = 8,2 \text{ [m}^3\text{/s]},$$

šířka spadiště

$$b_{sp} = 2,5 \text{ [m]},$$

tíhové zrychlení

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]},$$

Coriolisovo číslo [20]

$$\alpha = 1,05 \text{ [-]}.$$

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{1,05 \cdot 8,2^2}{9,81 \cdot 2,5}} = 1,0 \text{ m}$$

Celková kapacita spadiště byla vypočtena pomocí Chézyho rovnice, podrobný postup je k nalezení například v literatuře [19].

Kapacita spadiště  $Q_{sp} = 17,5 \text{ [m}^3\text{/s]}$ , vyhovuje podmínce  $Q_{sp} \geq 2 \cdot Q_{100}$ .

Spadiště protéká pod korunou hráze, čím vytváří most. Kapacita spadiště pod mostem je  $45,6 \text{ m}^3\text{/s}$ , byla vypočtena pomocí Chézyho rovnice (viz. literatura [19]).

Návrhové parametre skluzu:

šířka skluzu

$$b_{sk} = 2,5 \text{ [m]},$$

sklon

$$i_{sk} = 14 \text{ [%]},$$

hloubka

$$h_{sk} = 2 \text{ [m]},$$

kapacita

$$Q_{sk} = 86,6 \text{ [m}^3\text{/s]}.$$

Návrhové parametry vývaru byly odečteny z modelového programu HEC – RAS. Vložením příčných řezů skluzu a návrhového průtoku  $Q_{100}$ . Vývar musí splnit podmínku podle vzorce 7:

$$\sigma = \frac{0,55+0,3}{0,9} = 1,1$$

hloubka dolní vody

$$h_d = 0,55 \text{ [m]},$$

hloubka vývaru

$$d = 0,3 \text{ [m]},$$

druhá vzájemná hloubka

$$h_2 = 0,9 \text{ [m]}.$$

Podmínka na zajištění tlumení energie byla splněna, protože míra vzdutí  $\sigma$  je v povoleném intervalu (1,05 – 1,1).

Navržené technické parametry vyhověly podmínkám definované v kapitole 2.4.5. Jedná se zejména o:

- skluzem je prováděn průtok  $2 \cdot Q_{100} = 16,4 \text{ [m}^3/\text{s]} < Q_{sk} = 86,6 \text{ [m}^3/\text{s]}$ ,
- minimální hloubkou  $1,8h_k = 1,8 \cdot 1,0 = 1,8 \text{ [m]} < h_{sk} = 2 \text{ [m]}$ .

#### 4.3.2 Výpočet výpustného zařízení

Při návrhu výpustného zařízení je zohledněna výška hráze, hladin a typ konstrukčního uspořádání. Zásobní hladina přesahuje hranici 3 m, a proto bude v tomto případě navržen kombinovaný požerák. Návrh výpustného zařízení bude proveden pro přepad přes dlužovou stěnu a výtok otvorem.

Vstupní parametry pro výpočet přepadu přes dlužovou stěnu:

šířka přepadu  $b = 0,6 \text{ [m]}$ ,

výška přepadového paprsku (výška 2 dluží)  $h = 0,4 \text{ [m]}$ ,

součinitel přepadu  $m = 0,411 - 0,465 \text{ [m]}$ ,

výška přelivné hrany od dna nádrže  $s_1 = 7 \text{ [m]}$ .

Součinitel přepadu  $m$  bude vypočten podle vzorce (11) [19]:

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) \cdot \left[1 + 0,55 \cdot \left(\frac{h}{h+s_1}\right)^2\right] \quad 11$$

Pro výpočet podle vzorce 12 je potřebné znát účinnou šířku přelivu  $b_0$ .

$$b_0 = b - 2 \cdot K_v \cdot h \quad 12$$

$$b_0 = 0,6 - 2 \cdot 0,075 \cdot 0,4 = \mathbf{0,54 \text{ m}}$$

Součinitel vtoku  $K_v$  je vypočítán podle vzorce (13) [3]:

$$K_v = \frac{b \cdot K_{v0}}{b+h} \quad 13$$

$$K_v = \frac{0,6 \cdot 0,1}{0,6+0,2} = 0,075$$

Kde  $K_{v0} = 0,1 \text{ [-]}$  a závisí na ostrosti hrany dluže.

Průtok vody požerákem s dlužovou stěnou byl spočten pro výšky hladin v nádrži  $H = 460,80 - 468,66 [m \text{ n. m.}]$ . Celý výpočet odtoku z nádrže je k nalezení v příloze 8.

Podle vzorce 5 byl stanoven maximální průtok  $Q_{max}$  přes dlužovou stěnu při odstranění dvou dlužových desek:

$$Q_{max} = 0,277 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Průměr výpustného potrubí byl stanoven na hodnotu DN 500 při sklonu potrubí 2,5 % s maximální kapacitou  $Q_{kap} = 0,674 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Výtok potrubím byl vypočten pomocí vztahu 8 se vstupními hodnotami:

$$\text{plocha zúžení} \quad S_d = 0,096 [\text{m}^2],$$

$$\text{součinitel zúžení} \quad \mu = 0,756 [-],$$

Výsledek se liší podle výšky vody v nádrži, příklad výpočtu pro  $h = 6,4 [m]$ :

$$Q = 0,756 \cdot 0,096 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6,4} = \mathbf{0,815 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Celý výpočet pro každou výšku vody v nádrži je k nalezení v příloze 8.

Doba potřebná pro vypuštění kompletně celé nádrže činí 277 hodin, tj. zhruba 11 dní a 13 hodin. Čas vypuštění byl vypočten v programu *Nádrže*, kde vstupními parametry byl objem zásobního prostoru a odtoková křivka.

#### 4.3.3 Stanovení kontrolní maximální hladiny

Zpracování hydrogramu, návrhové povodně, bylo provedeno v programu *Nádrže*. Do programu byla importována data:

- čára zatopených ploch (viz. kapitola 2.4.2),
- výšková kóta koruny hráze (468,66 m n. m.),
- šířka hráze (128 m),
- výšková kóta nejnižšího místa hráze, vstup do požeráku (460,8 m n. m.),
- šířka hráze v nejnižším místě nádrže (54 m ).

Výstupem z programu *Nádrže* je graf průběhu povodňové vlny (viz. příloha 4). Kontrolní maximální hladina byla stanovena na nadmořskou výšku 467,65 m n. m. Hodnota byla odečtena z grafu (viz příloha 4), kdy hladina v nádrži

dosáhne nejvyšší hodnotu, návrhový průtok  $Q_{100}$ . Následující tab. 9 shrnuje technické hodnoty, podle kterých jsou vytvořené výkresové přílohy:

**Tab. 9** Technické parametry MVN Pod kravínem

Popis	Nádrž Pod kravínem	Jednotky
Kóta koruny hráze	468,66	[m n. m.]
Kóta maximální hladiny	467,80	[m n. m.]
Kóta hladiny ovladatelného objemu	467,20	[m n. m.]
Kóta hladiny zásobního objemu	467,00	[m n. m.]
Plocha maximální hladiny	1,69	[m]
Plocha ovladatelného objemu	1,56	[m]
Plocha zásobního objemu	1,52	[m]
Maximální objem	54 780	[m <sup>3</sup> ]
Ovladatelný = ochranný objem	1651	[m <sup>3</sup> ]
Zásobní objem	43 425	[m <sup>3</sup> ]
Délka hráze	128	[m]
Šířka v koruně hráze	4	[m]
Výška hráze	7,86	[m]



## 5 REKONSTRUKCE NÁDRŽE

Následující kapitola tvoří nosnou část diplomové práce. Jejím hlavním cílem je deskripce vybraných konstrukčních prvků, jejichž revitalizace je základním předpokladem pro úspěšné znovu zprovoznění celé nádrže. Důležitou součástí kapitoly jsou také výkresové přílohy V1 – V11, které doprovází textovou část.

### 5.1 Odbahnění nádrže

Odbahnění je jedním z nejdůležitějších procesů, které slouží k údržbě nádrží. Zanášením dochází ke snižování jejich akumulčního prostoru, tím ke zhoršování jejich funkce a také ke zhoršení kvality vody v nádržích. U MVN se využívá suchá cesta, kdy po vypuštění nádrže a odvodnění dna jsou sedimenty postupně odstraňovány.

MVN je zanesena asi 1,5 metrovou vrstvou dnových sedimentů, které nebyly od doby výstavby vytěženy (obr. 19).



**Obr. 19** Množství sedimentů po vypuštění rybníku

Sedimenty ze dna a svahů nádrže budou vytěženy a odvezeny na ornou půdu v maximální výšce uložení 10 cm. Celkové množství odtěženého sedimentu je 11116 m<sup>3</sup>. Celkový objem sedimentů byl spočítán v modelovém programu AutoCAD Civil 3D.

Nejdřív byl vytvořen 3D digitální model terénu z geodetických podkladů. Následně byl celým zaměřeným územím veden podélný řez (příloha V2) v nejnižších výškových bodech modelu. Po trase podélného řezu bylo vytvořeno 10 příčných řezů (přílohy V3, V4, V5), které znázorňují výšku sedimentů (zelená barva) a nové navržené dno MVN (červená barva). Na základě nového tvaru dna v příčných řezech byl vytvořen nový povrch dna. Odčítáním povrchu sedimentů a nového dna byly vypočteny kubatury v programu AutoCAD Civil 3D.

Odbahnění MVN bude provedeno dle příčných profilů (Přílohy V3, V4, V5), tvar a sklony nového dna kopírují původní dno. MVN bude vypuštěna a odvodněna,

následně bude vybudován sjezd z levého břehu a upraven šterkodrtí. V prostoru zátopy budou umístěny dřevěné matrace, které budou sloužit k příjezdu v nádrži. Dřevěné matrace budou po realizaci odstraněny.

Vytěžený sediment byl odebrán k analýze, která byla provedena akreditovanou laboratoří ÚNS – Laboratorní služby, s.r.o., Kutná Hora. (6/2016). Závěry z provedených zkoušek jsou následující:

- dle porovnání výsledků s limity danými ve vyhlášce č. 257/2009 Sb. v aktuálním znění lze tento sediment použít na zemědělské půdě, při tom obsahy škodlivin v půdě, na kterou má být sediment uložen, nemusí být zjišťovány,
- dle porovnání výsledků s limity danými vyhláškou 294/2005 Sb. v aktuálním znění lze tento odpad použít na povrchu terénu za podmínek uvedených v této vyhlášce,
- dle podmínek uvedených v ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ je možno sediment použít jako surovinu pro výrobu kompostů.

Hodnocení dle vyhlášky č. 341/08 Sb. „O podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady“, sediment mírou kontaminace odpovídá materiálu, který je možno využít na povrchu terénu:

- určeného pro zeleň u sportovních a rekreačních zařízení a v obytných zónách,
- určeného pro městskou zeleň parků a lesoparků, při vytváření rekultivačních vrstev na území průmyslových zón a při úpravách terénu v průmyslových zónách za podmínek uvedených v příloze č. 6 této vyhlášky,
- při vytváření rekultivačních vrstev zabezpečených skládek odpadů, při uzavírání a rekultivaci skládek a odkladišť.

## **5.2 Rekonstrukce výpustného zařízení**

Součástí stávajícího výpustného zařízení je požerák, který je zatopen vodou a zahlcen sedimentem. K vypuštění MVN je potřebné prohloubit prostor před stávajícím výpustním zařízením, aby mohl být zcela vypuštěn.

Výpustné zařízení bude nově vybudováno a staré bude odstraněno. Nový stav je součástí výkresové přílohy V6.

Železobetonový požerák slouží k regulaci hladiny v nádrži a k vypuštění vody z místa zátopy. Z důvody vysoké hráze (7,86 m) je navržen uzavřený, kombinovaný požerák. Na vtoku do potrubí požeráku bude po odtěžení sedimentu vybudováno zpevnění dna betonem 25/30 XC4, XF3, tl. 0,2 m na ploše 69 m<sup>2</sup>. Tohle zpevnění bude sloužit jako loviště při vypouštění rybníku. Dále pak bude vtok do požeráku osazen pozinkovanými ocelovými česlemi.

V samotné konstrukci požeráku se nachází výpust (deskové šoupě). V celé šířce vtokového objektu (0,8 m) je osazena betonová stěna do výšky 464,80 m n. m. Nad výšku maximální hladiny pokračuje 3,4 metrová dlužová stěna pro ovládání hladiny. Vstupní část požeráku, pro obsluhu, je zpřístupněna ocelovým zábradlím od koruny hráze. Pro regulaci hladiny je tato vzdušná část požeráku opatřena pozinkovaným, ocelovým, uzamykatelným poklopem. K poklopu požeráku je vyveden vrut kanalizačního šoupěte k otevření výpustě. K nové betonové konstrukci požeráku budou přichycené ocelové stupadla, pro obsluhu. Požerák je založen na patce rozměrů 2,00 x 3,30 m.

Jako výstup z požeráku je navrženo výpustné potrubí DN 500 ve sklonu 3 %, které ústí do vývaru. Potrubí bude provedeno z vodostavebního mrazuvzdorného betonu 25/30 XC4, XF3, který bude obetonován (viz. výkresová příloha V6).

### 5.3 Rekonstrukce bezpečnostního přelivu

Stávající bezpečnostní přeliv je značně poškozen, betonové zídky jsou zarostlé mechem. Na styku betonové zídky se dnem bezpečnostního přelivu jsou kaverny, vymílaná místa.

V celé ploše bezpečnostního přelivu dojde k očištění plochy pomocí tlakové vody. Na celé délce bezpečnostním přelivu dojde k mechanickému obourání, částečnému odstranění, přelivné hrany a ochranných zídek. Tato oblast bude nahrazena vodostavebním mrazuvzdorným betonem 25/30 XC4, XF3, vyztuženým KARI sítí 100/100/6 mm. Tato oprava bude provedena na celé délce bezpečnostního přelivu. Takto bude přelivná hrana bezpečnostního přelivu navýšená o 0,2 m na výšku ovladatelného prostoru nádrže 467,20 m n. m. Výška ochranných zídek spadiště a skluzu je navržena 2 m podle výkresové přílohy V9.

Dno spadiště a skluzu bude prohloubeno, stávající kameny budou očištěny a dočasně odstraněny. Koryto jednotlivých částí bezpečnostního přelivu bude vybudováno podle řezů výkresové přílohy V9. Stávající kameny budou vráceny po prohloubení do koryta a prolity betonem 25/30 XC4, XF3.

Z vyústění skluzu do vývaru bude vybudován stupeň. Betonový prvek bude sloužit jako stabilizace skluzu. Ochranné zídky vývaru budou očištěny pomocí tlakové vody. Z vývaru za vyústěním od skluzu bude odstraněn sediment. Dno

vývaru a část koryta za vývarem (plocha cca 30 m<sup>2</sup>) bude opevněno kamenným záhozem z lomového kamene velikosti zrna 80 - 200 kg, tl. 0,4 m.

#### 5.4 Vytvoření sedimentačního prostoru

Tento prostor je budován z ohledem na budoucí rekonstrukce. Usazování materiálu proběhne v horní části zátopy a případné další odtěžení sedimentu bude značně na menší ploše.

Sedimentační prostor bude vytvořen dle příčných profilů (výkresová příloha V5). Podélný sklon je 3 %. Dno v příčném směru bude ve sklonu 1,0 %. Břehy v nádrži budou vysvahovány podle příčných řezů (viz. výkresová příloha V5). Zemina odtěžená ze zátopy bude použita na výstavbu zemní hráze, oddělovací hrázky.

V profilu PF 9 v km 0,174 bude vytvořena oddělovací hrázka. Hráz bude zemní lichoběžníkového profilu se sklony svahů 1:3 a šířkou v koruně 2,0 m. Koruna bude umístěna na kótu 467,20 m n. m. Uprostřed v celé šířce hráze bude umístěn přeliv šířky 8,0 m z lomového kamene o hmotnosti 80-200 kg. Filtrační vrstva z hrubého kameniva frakce 0,063-63 mm, tl. 0,3 m odděluje materiály. Všechny materiál v tělese hráze musí být řádně zhutněn a to nejméně na 95% maximální objemové hmotnosti sušiny podle standardní Proctorovy zkoušky.

#### Technologický předpis hutnění hráze

Homogenní těleso hráze bude vybudováno v souladu s *ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže* a *ČSN 75 2310 Sypané hráze*. Dodavatel nechá provést odebrání vzorku z místa hráze a nechá ověřit zhutnitelnost laboratorními zkouškami. Následně bude dle jednotlivých příčných profilů a situace stavby proveden násyp hráze do požadovaného tvaru. Těleso zemní hráze je ve tvaru lichoběžníku, návodní líc ve sklonu 1:3 a vzdušný líc ve sklonu 1:3. Při sypání hráze nutno dbát na optimální vlhkost zeminy před hutněním. Optimální vlhkost zeminy a objemová hmotnost po zhutnění bude určena standardní Proctorovou zkouškou. Sypání zeminy je nutno provádět po vrstvách, jejichž tloušťka před zhutněním nesmí být větší než 20 cm. Míra zhutnění hráze musí být provedena na parametr  $C^1 \geq 0,975$  dle *ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin*. Při úpravě hráze je nutné dodržet všechny zásady o těsnění, odvodnění a statické i filtrační stabilitě dle *ČSN 72 1006*.

Při úpravě hráze je nutno dodržet všechny zásady o těsnění, odvodnění a statické i filtrační stabilitě dle *ČSN 72 1015 Laboratorní stanovení zhutnitelnosti zemin*. Všechny materiál v tělese hráze musí být řádně zhutněn a to nejméně

---

<sup>1</sup> Parametr C – poměr objemové hmotnosti vlhké zeminy zhutněné na stavbě a objemové hmotnosti těže zeminy zhutněné při těže vlhkosti laboratorním postupem dle *ČSN 72 1015 Laboratorní stanovení zhutnitelnosti zemin*.

na 95% maximální objemové hmotnosti sušiny podle standartní Proctorovy zkoušky. Sypání a zhutňování částí hráze ze soudržných zemin za deštivého počasí nebo při sněžení a při mrazu nesmí být prováděno. Zemina znehodnocená mrazem, deštěm apod. bude odstraněna stejně jako led a sníh.

## 6 BEZPEČNOSTNÍ ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ

„Zajištění bezpečnosti vodního díla je jedním z prvořadých cílů, které má zajistit jeho návrh. Odpovídající bezpečnost je vyžadována i při provozu vodního díla. *Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla*, ve znění pozdějších předpisů, vymezuje požadavky na konstrukční prvky přehrad z pohledu jejich bezpečnosti.“ [21]

### 6.1 Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni

Posuzováním vodních děl při povodních se zabývá ČSN 75 2935. Posouzení bezpečnosti však podléhají vodní díla [21]:

- nad kterými se provádí technickobezpečnostní dohled,
- jejichž součástí je vzdouvací stavba, která přehrazuje údolí toku a vytváří nádrž,
- u kterých nelze v důsledku nekontrolovaného naplnění vodní nádrže za mimořádné hydrologické situace vyloučit přelití koruny hráze s nebezpečím jeho porušení,
- všech konstrukčních typů hrází (z místních materiálů, betonových, zděných a kombinovaných).

Zpracováním posudku se určí míra bezpečnosti při povodni. Takle požadovaná míra se stanoví podle již provedené kategorizace s přihlédnutím k možným ztrátám lidských životů a výši škod při havárii vodního díla. [21]

MVN Pod kravínem je podle svého významu a stupně ohrožení území pod dílem zařazena podle *vyhlášky č. 471/2001 Sb.* [22] do IV. Kategorie. V souladu s normou ČSN 75 2935 [21] a *vyhláškou č. 367/2005 Sb.*, kterou se mění *Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla* [23] MVN Pod kravínem patří do kategorie vodního díla IV. Pravděpodobné škody při hypotetické havárii vodního díla jsou nízké a ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné. Přepokládaný nízký potencionální rozsah celkových škod se týká [21]:

- ekonomické škody,
- škody na životním prostředí,
- sociální dopady lokálního rozsahu.

Požadována míra bezpečnosti vodního díla je vyjádřena pravděpodobností překročení kulminačního průtoku kontrolní povodňové vlny (dále v textu KPV)  $p = 0,01$  ( $N = 100$  let). [21]

Výsledkem posouzení je relace mezi úrovněmi mezní bezpečné hladiny (MBH) a kontrolní maximální hladina (KMH). [21]

## 6.2 Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla za povodní

Při povodních dochází k manipulaci s VD při překročení hladiny vody nad kótu 467,20 m n. m. Jakmile dojde k přetečení vody nad hladinu 467,20 m n. m., začne voda přepadat přes hranu bezpečnostního přelivu. Převádění povodňových průtoků není regulováno. Je možné vodu předpouštět z nádrže v období před očekávaným jarním táním s cílem, kdy chceme zvýšit ochranný účinek nádrže. Při povodních se nejprve plní volný zásobní prostor. Za těchto podmínek je voda vypouštěna spodní výpustí (DN 500), kdy dostáváme maximální průtočné množství o hodnotě 0,674 m<sup>3</sup>/s. Pokud je přítok do nádrže větší než odtok a voda přepadá přes bezpečnostní přeliv, dochází k postupnému uzavěře spodních výpustí a odtok je realizovaný pouze přes přeliv. Poté už hladina stoupá neovladatelně v retenčním prostoru. Při vystoupaní hladiny na  $M_{\max} = 467,80$  m n. m. odtéká přes přeliv průtok o hodnotě 8,20 m<sup>3</sup>/s.

Ovladatelný retenční prostor má objem 1651 m<sup>3</sup>, což je vůči objemu povodňové vlny  $W_{PV100} = 128\,000$  m<sup>3</sup> zanedbatelný objem.

Konstrukční uspořádání jednotlivých prvků vodního díla je popsáno v kapitole 5.

## 6.3 Stanovení mezní bezpeční hladiny

MBH je stanovena pro konkrétní typ a konstrukční řešení vodního díla jako nejvyšší hladina v nádrži. Při překročení této výšky začíná být aktuální nebezpečí poruchy a havárie vodního díla. [21]

Při stanovení MBH byla zvažována celková stabilita hráze z globálního pohledu (porušení po smykové ploše), provalení tělesa hráze v důsledku ztráty filtrační stability a protržení hráze při jejím přelití v důsledku povrchové eroze.

Pro MVN není obvykle globální stabilita porušením podél smykové plochy podrobněji posuzována. Materiálu CS (jíl písčitý) odpovídají sklony homogenní hráze 1:3,3 návodního a 1:2 vzdušního svahu. Sklon návodního svahu je 1:3 a vzdušního 1: 2,5. Sklon návodního líce nesplňuje požadavky normy [8].

Po dobu provozu MVN nebyly identifikovány výrazné průsaky hrází, proto je nepravděpodobné provalení tělesa hráze v důsledku ztráty filtrační stability.

Minimální kóta koruny hráze je 468,66 m n. m. Pro případ přelití tělesa hráze, resp. jejího jádra, uvažujeme kótu mezní bezpečné hladiny na úrovni 467,80 m. n. m.

KMH při povodni byla stanovena řešením úlohy transformace povodňové vlny. Hydrologickým podkladem pro výsledek posouzení je KPV, která je součástí přílohy 2.

#### 6.4 Nápravná a nouzová opatření ke zvýšení bezpečnosti

Parametry pro posouzení bezpečnosti jsou následující:

- MBH byla stanovena na kótu 467,80 m n. m.,
- návrhový průtok KPV je  $Q_{100} = 8,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,
- čára zatopených ploch (viz příloha 6),
- odtoková křivka (viz příloha 8).

Transformace povodňové vlny byla provedena v modelovém programu *Nádrže*. Výstupem je graf průběhu povodňové vlny (viz. příloha 4) a hodnota maximální hladiny při přechodu povodně 467,65 m n. m. (KMh).

„Obecně se vodní dílo předpokládá za bezpečné při platnosti  $KMH \leq MBH$ “ [21], tedy 467,65 m n. m.  $\leq$  467,80 m n. m. **Posudek vyhověl.**

„Nápravná opatření se týkají provozovaných vodních děl v případě negativního výsledku Posudku“ [21].



## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla rekonstrukce malé vodní nádrže Pod kravínem v katastru obce Pucov. Vlivem několika desítek let bez údržby se na nádrži projevíly značné poruchy. Technický stav nádrže byl nevyhovující a to zejména:

- bezpečnostní přeliv,
- výpustné zařízení,
- zanešení dnovými sedimenty.

Výsledkem návrhu rekonstrukce se docílilo zlepšení technického stavu nádrže a to konkrétně:

- odbahněním nádrže byl zvětšen zatopený prostor z původních 43 664 m<sup>3</sup> na 54 780 m<sup>3</sup>,
- navýšením přelivné hrany bezpečnostního přelivu o 0,2 m byl vytvořen ovladatelný (retenční) prostor,
- kompletně nové výpustné zařízení umožňuje ovládat retenční prostor,
- vytvořením sedimentačního prostoru nad nádrží se docílilo zlepšení kvality vody v nádrží.

V závěru práce byla posouzena mezní bezpečná hladina pro převedení kontrolní povodňové vlny. Posudek byl pozitivní a nejsou potřebná další opatření ke zvýšení bezpečnosti.

Navržené opravy a nové objekty přispěly ke zlepšení charakteristik nádrže. Hlavní rybochovný účel nádrže byl zachován s vynikajícím technickým stavem.

Všechny cíle práce splněny.

## POUŽITA LITERATURA

- [1] Obnova, rekonstrukce nebo výstavba malých vodních nádrží. *Finanční nástroje péče o přírodu a krajinu* [online]. AOPK ČR, b.r. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.dotace.nature.cz/voda-opatreni/obnova-rekonstrukce-nebo-vystavba-malych-vodnich-nadrzi.html>
- [2] ŠÁLEK, Jan, Zdeněk MIKA a Anna TRESOVÁ. *Rybníky a účelové nádrže: Celost. učebnice pro stavební fakulty vys. škol techn. 1. vyd.* Praha: SNTL, 1989. ISBN 8003000920.
- [3] VRÁNA, Karel a Jan BERAN. *Rybníky a účelové nádrže*. Vyd. 3. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 9788001040027.
- [4] *Malé vodní nádrže - rybníky: příručka pro provádění technickobezpečnostního dohledu*. Praha: Ministerstvo zemědělství, Sekce vodního hospodářství, 2016. ISBN 978-80-7434-277-6.
- [5] Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). b.r..
- [6] Doporučení k projektům malých vodních nádrží. AOPK ČR [online]. b.r. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://strednicehy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/male-vodni-nadrze/>
- [7] DOLEŽAL, Petr. *Malé vodní a suché nádrže: TP 1.19 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2011. ISBN 9788086364162.
- [8] ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [9] Vodní hospodářství. Lesy ČR [online]. 2012 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.lesy.cz/pece-o-les/sprava-vodnich-toku-a-bystrin/Stranky/cinnost-lcr-sp-na-useku-vh.aspx>
- [10] Obnova rybníků: Obnova malých vodních nádrží jako významných krajinných prvků [online]. 3. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2009 [cit. 2016-12-05]. ISBN 978-80-87051-63-4. Dostupné z: <http://www.dotace.nature.cz/res/data/003/000574.pdf>
- [11] ŠÁLEK, Jan. *Rybníky a účelové nádrže*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2001. ISBN 80-214-1806-0.
- [12] ČSN 75 2405 *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*. Český normalizační institut, 2004.
- [13] KUNŠTÁTSKÝ, Jiří a Cyril PATOČKA. *Základy hydrauliky a hydrologie: pro inženýrské konstrukce a dopravní stavby : celostátní učebnice pro vysoké školy*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1971. Řada stavební literatury.
- [14] DOLEŽAL, Petr. *Projekt vodní hospodářství krajiny: Studijní opora*. Brno, 2006.
- [15] Obec Pucov [online]. b.r. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.obecpucov.cz/>

- [16] Český statistický úřad [online]. b.r. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: [www.czso.cz](http://www.czso.cz)
- [17] *Geologie, radon* a geologická mapa Pucov. Geologické a geovědní mapy [online]. 2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-736708/#mapy-online>
- [18] *Hydroekologický informační systém VÚV TGM* [online]. b.r. [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <http://www.heisvuv.cz/>
- [19] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [20] KUNŠTÁTSKÝ, Jiří a Cyril PATOČKA. *Základy hydrauliky a hydrologie pro inženýrské konstrukce a dopravní stavby: celostátní učebnice pro vysoké školy*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1966. Řada stavební literatury.
- [21] ČSN 75 2935 *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [22] *Vyhláška č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly*. b.r..
- [23] *Vyhláška č. 367/2005 Sb., kterou se mění vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla*. b.r..

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Přehledná situace, M 1:50 000
Příloha 2	Hydrogramy povodňových vln
Příloha 3	Hydrologické údaje
Příloha 4	Průběh povodňové vlny
Příloha 5	Fotodokumentace
Příloha 6	Čára zatopených ploch a objemů
Příloha 7	Výpočet vodohospodářské bilance
Příloha 8	Výpočet odtokové křivky

Výkresová příloha V1	Celková situace
Výkresová příloha V2	Podélný profil
Výkresová příloha V3	Příčné profily nádrže
Výkresová příloha V4	Příčné profily nádrže
Výkresová příloha V5	Příčné profily nádrže
Výkresová příloha V6	Podélný řez výpustným objektem
Výkresová příloha V7	Podélný řez hrází
Výkresová příloha V8	Podélný profil bezpečnostního přelivu
Výkresová příloha V9	Příčné řezy bezpečnostního přelivu
Výkresová příloha V10	Vzorový řez hrází – sedimentační prostor
Výkresová příloha V11	Vzorový řez hrází – sedimentační prostor

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obr. 1</b> Malé vodní nádrže v ČR podle Lesy ČR [10].....	13
<b>Obr. 2</b> Příklad uspořádání konstrukčních prvků u MVN [2] .....	13
<b>Obr. 3</b> Vzorový řez hráze [2].....	14
<b>Obr. 4</b> Vzorový řez spodních výpustí [2] .....	15
<b>Obr. 5</b> Vzor skladby bezpečnostního přelivu [2].....	16
<b>Obr. 6</b> MVN Pod kravínem.....	17
<b>Obr. 7</b> Časový průběh přítoku a odtoku z nádrže [14] .....	18
<b>Obr. 8</b> Čára zatopených ploch [14] .....	19
<b>Obr. 9</b> Čára zatopených objemů [14] .....	20
<b>Obr. 10</b> Dělení objemů nádrže [2].....	20
<b>Obr. 11</b> Nomogram pro stanovení výparu podle ČSN 75 2410 [7].....	21
<b>Obr. 12</b> Schéma veličin - Výpočet průsaku homogenní hrází na nepropustném podloží [7] .....	23
<b>Obr. 13</b> Schéma výpustného objektu s plochým kanalizačním šoupátkem [2].	25
<b>Obr. 14</b> Typy kombinovaných požeráků [1] .....	26
<b>Obr. 15</b> Lokalizační mapa.....	27
<b>Obr. 16</b> Geomorfologické rozdělení ČR.....	28
<b>Obr. 17</b> Křivka překročení měsíčních průtoků.....	32

<b>Obr. 18</b> Průsaková křivka MVN Pod Kravínem .....	34
<b>Obr. 19</b> Množství sedimentů po vypuštění rybníku .....	41

## SEZNAM TABULEK

<b>Tab. 1</b> Rozdělení ročního výparu podle ČSN 75 2410 [7] .....	22
<b>Tab. 2</b> Stanovení opravného koeficientu podle procenta zarostlé plochy [2] ...	22
<b>Tab. 3</b> Hodnoty zatopených ploch a objemů. ....	31
<b>Tab. 4</b> Průměrné měsíční průtoky ( <i>m</i> - denní průtoky).....	31
<b>Tab. 5</b> Průměrné roční průtoky ( <i>N</i> - leté průtoky).....	31
<b>Tab. 6</b> Objem výparu rozpočítán podle procentuálního rozdělení.....	32
<b>Tab. 7</b> Roční vodohospodářská bilance .....	34
<b>Tab. 8</b> Přepadové součinitele obdélníkového jezu [18].....	36
<b>Tab. 9</b> Technické parametry MVN Pod Kravínem .....	40